

Влияние урбанизации на процессы биологических инвазий в Арктике (на примере Ямальского региона)

© 2020. Е. М. Копцева, к. б. н., ассистент,
И. Ю. Попов, к. б. н., с. н. с., Д. Ю. Власов, д. б. н., профессор,
Е. В. Першина, к. б. н., ст. преподаватель,
Е. Е. Андронов, к. б. н., доцент, Е. В. Абакумов, д. б. н., профессор,
Санкт-Петербургский государственный университет,
199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 16-линия В.О., д. 29,
e-mail: E_abakumov@mail.ru, e.abakumov@spbu.ru

Урбанизированные экосистемы Арктического пояса являются важнейшим примером расселения инвазивных видов живых организмов в местообитания, ранее для них не свойственные. В связи с этим урбанизированные арктические экосистемы изучены в контексте биологических инвазий и трансформации локальных природных сообществ в антропогенные. Установлено, что трансформация флор и сообществ микромицетов происходит во многом из-за смены гидротермического режима при физическом нарушении почвенного покрова, что является нередким последствием урбанизации (строительство, добыча полезных ископаемых). Урбаногенные флоры являются достаточно устойчивыми и конкурентоспособными. Индексы α - и β -разнообразия сообществ микроорганизмов коренным образом отличаются в техногенных и природных почвах, что во многом связано с наличием инвазивных видов. Разнообразие микроорганизмов в урбанизированных экосистемах также возрастает в связи антропогенным и орнитогенным переносом, сообщества оказываются довольно устойчивыми и нередко несут в себе санитарно-гигиенические риски, связанные с патогенностью. Интенсификация туризма, транспортной активности и рост урбанизации приводят к сильной трансформации локальных фаун. За счёт урбанизированных территорий ряд видов расширили ареал вплоть до северных границ суши Евразии, что играет важнейшую роль в формировании трофических цепей и способствует изменению экосистем в целом.

Ключевые слова: Арктика, инвазии, флора, фауна, микроорганизмы.

An influence of urbanization on the processes of biological invasions in Arctic (on example of Yamal Autonomous Region)

© 2020. E. M. Koptseva ORCID: 0000-0003-4387-9521, I. Yu. Popov ORCID: 0000-0002-2564-3294,
D. Yu. Vlasov ORCID: 0000-0002-0455-1462, E. V. Pershina ORCID: 0000-0003-0834-3211,
E. E. Andronov ORCID: 0000-0002-5204-262X, E. V. Abakumov ORCID: 0000-0002-5248-9018,
Saint-Petersburg State University,
29, 16-line Vasilyevskiy Island, St. Petersburg, Russia, 199178,
e-mail: E_abakumov@mail.ru, e.abakumov@spbu.ru

Urbanized ecosystems of the Arctic environment are considered as the most important example of invasive species redistribution into habitats which are not typical for them. In this context, urbanized ecosystems has been investigated in terms of biological invasions and local natural communities transformation into anthropogenic ones. It is shown, that transformation of the flora and microfungi is caused mainly by transformation of hydrothermic regime under the change of soil cover surface, which is considered as frequent consequence of the urbanization (construction, mining). Urbanogenic floras are considered as relatively stable and competitive. Indexes of α - and β -biodiversity of microorganisms are very different in soils of technogenic and mature landscapes, which is caused by the presence of the invasive species. The diversity of microorganisms shows tend to increase due to anthropogenic and ornitogenic translocation. Newly formed communities become comparatively stable and results in sanitary-hygienic risks related to the pathogenesis. An intensification of the tourism, transport activity, and increase of urbanization result in intensive transformation of the local faunas. Increment and expansion of urbanized territories results in extending of the area to the northern margin of terrestrial borders of Eurasia, this also has an effect in formation of the food chains and holistic changes in ecosystems.

Keywords: Arctic, invasions, flora, fauna, microorganisms.

Арктика является уникальной исследовательской лабораторией человечества [1], территорией открытия, поиска и моделирования. Природный каркас Арктики уникален по представленности различных типов экосистем и ландшафтов. Криогенные экосистемы характерны не только для обширных природных ландшафтов криолитозоны Российской Федерации (РФ), но и для многочисленных городских и частично урбанизированных территорий. В связи с разработкой новой законодательной стратегии РФ по отношению к Арктике (8 опорных регионов), внимание учёных к Арктической зоне становится всё более пристальным. Хотя население Арктического пояса составляет немногим менее 2,5 млн человек, более 85% от этого числа проживает на урбанизированных территориях [1–2]. Урбанизированные территории представлены как небольшими городами с населением около 20–50 тыс. человек, так и посёлками. Плотность населения на урбанизированных территориях Севера высока, что вызывает коренную трансформацию растительного и почвенного покрова, фаунистических комплексов и экосистем в целом. Урбанизированные территории становятся очагами распространения адвентивных и инвазивных видов.

Криогенные экосистемы Севера испытывают колоссальное давление инвазивных видов микроорганизмов (МО) и растений, попадающих на Север по разнообразным транспортным артериям, в связи с этим актуальной является оценка экологического равновесия и мониторинг биоразнообразия экосистем. Важным фактором влияния является тотальное механическое преобразование местообитаний птиц и млекопитающих в местах возведения городов, постоянных и вахтовых посёлков, линейных объектов инфраструктуры, а также резкое увеличение рекреационных нагрузок и фактора беспокойства. Существенной проблемой является появление большого числа синантропных хищников (домашних и бродячих собак), а также рост численности песцов вокруг новых человеческих поселений. Особой проблемой является реабилитация экосистем, нарушенных техногенным воздействием, поскольку регенерационный потенциал экосистем в условиях короткого лета и низких температур является крайне низким. Современное развитие городов российской Арктики требует комплексных решений экологических и организационных проблем зелёного хозяйства [3, 4]. В настоящее время урбофлорогенез находится в стадии изуче-

ния и количественного накопления данных. В связи с вышесказанным, целью настоящего исследования стало исследование влияния урбанизации на процессы биологических инвазий в Арктическом поясе РФ.

Материалы и методы

Изучали трансформацию флоры, фауны и микобиоты урбанизированных экосистем в сравнении с природными фоновыми природными биогеоценозами. В основу исследований положены данные полевых исследований, осуществлённых в рамках Высокоширотной арктической экспедиции в 2010–2016 гг. и экспедиции «Ямал» 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 гг. В основу изучения участия инвазивных видов в антропогенных растительных сообществах положен анализ 130 геоботанических описаний, выполненных на 15 карьерно-отвальных комплексах песчано-гравийных смесей в окрестностях г. Губкинский (северная тайга, ЯНАО, лесотундра, тундра, полуостров Ямал) и в природных экосистемах. Встречаемость и среднее проективное покрытие (ПП) двух инвазивных видов рассчитаны для фитоценозов карьеров различной продолжительности самозаращения. Для микробиологического и метагеномного исследования были использованы почвы (литозёмы), сформированные на поверхности отвалов рудника по добыче хромовых руд в пос. Харп, г. Чёрная (песчано-гравийные отложения) и на отвалах карьеров по добыче строительных материалов в лесотундровой (р-н г. Чёрная) и тундровой зоне (отвалы глинистого, песчаного и каменистого состава). В качестве контроля выступала криогенная глеевая почва в районе пос. Аксарка. Образцы для микробиологических исследований после доставки в лабораторию были заморожены. Выделение ДНК производили согласно специально разработанной методике [5, 6]. Секвенирование и первичную обработку данных осуществляли на приборе ILLUMINA MiSeq. Обработку секвенированных последовательностей гена 16S рРНК производили с использованием пакетов ПО «Trimmomatic» и «QIIME» [7]. α -разнообразие оценивали с использованием индексов видового богатства (число OTU в образце, индекс Chao1, показатель филогенетического разнообразия Фейта) и индекса Шеннона. Микологические исследования проводили с целью оценки санитарно-гигиенического состояния урбанизированных местообитаний. Изучение состава аэромикоты (содержание микроскопических

грибов в воздушной среде) проводили в районах арктических поселений в прибрежной зоне Карского и Баренцева морей. Отбор проб воздушной среды проводили в жилых и рабочих помещениях, во внешней среде на территории поселений, а также на контрольных участках, удалённых от мест, подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию. Пробы были взяты в трёхкратной повторности с использованием аспиратора ПУ-1Б, через который прокачивали воздух в объёме 250–1000 л, осаждая МО в чашки Петри на агаризованную питательную среду Чапека. Выделение МО из почв и грунтов проводили стандартными микробиологическими методами посева частиц грунта на питательные среды и методом почвенных разведений. Численность колониеобразующих единиц микромицетов в 1 грамме почвы подсчитывали на среде Чапека. Идентификацию микромицетов проводили по морфологическим признакам с использованием отечественных и зарубежных определителей. Наблюдения за инвазивными видами позвоночных животных проводили во время ряда экспедиций морского базирования, с использованием современных методов учёта, а также фотоловушек и биноклей.

Результаты и обсуждение

Распространение инвазивных видов растений связано, прежде всего, с ростом площадей нарушенных земель в арктических ландшафтах. Данные «нарушения» отличаются относительной молодостью, и процесс натурализации адвентивных видов на севере не имеет в настоящий момент столь глобального характера по сравнению с южными регионами. Северные фитоценозы и экосистемы потенциально особенно уязвимы в отношении инвазивных видов. Это связано с относительной «ненасыщенностью» исторически молодых северных флор и ослабленной межвидовой конкуренцией в сообществах.

Возможным механизмом обогащения флор экотонных областей тундры и лесотундры адвентивными видами из более южных районов является их «бореализация». Для тундровых и лесотундровых областей Западной Сибири явления бореализации флор техногенных местообитаний не было установлено [8], при этом авторы не учитывали городские экотопы, которые в большей степени служат проводниками адвентивных и инвазивных видов. В целом же процент адвентиков во флорах северных областей может быть до-

статочно высок и достигать 7–17%. Для характеристики инвазионного компонента флоры предложена четырёхбалльная шкала, построенная на оценке уровня агрессивности инвазионных видов и особенностей их распространения. Для севера Западной Сибири инвазивными можно считать *Hordeum jubatum* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Chenopodium album* L. В первую очередь вселенцы будут вытеснять аборигенные виды – апофиты с нарушенных местообитаний. Так, *Tripleurospermum inodorum* и *Chenopodium album* зарегистрированы нами в качестве ценозоообразователей растительных сообществ на территориях карьерно-отвалных комплексов близ г. Губкинский (северная тайга, ЯНАО). На протяжении первых 15–20 лет данные виды доминируют и имеют высокую встречаемость в экотопах различной влагообеспеченности. Данные виды довольно долго сохраняются в посттехногенных экосистемах зарастающих карьеров. Однако в процессе первичной сукцессии встречаемость и ПП данных инвазивных видов снижается.

В формировании микробиома тундровых антропогенно-нарушенных почв существенную роль играет трансформация физического и водного режима почв. На карьерах и рудниках доминируют литозёмы и петрозёмы, которые отличаются от зональных почв большей степенью аэрации и водопроницаемостью. В связи с этим, на отвалах поселяется таёжная травянистая растительность, а в почвах формируется выраженный серогумусовый горизонт. Почвы характеризуются нейтральной или слабोकислой реакцией среды, очень низким содержанием гумуса и азота, повышенными величинами метаболического коэффициента, что свидетельствует о несбалансированности процессов накопления и минерализации органического вещества. Фоновые почвы региона сильно отличаются от техногенно-нарушенных и посттехногенных. За счёт прохождения циклов криогенеза основная масса органического вещества накапливается не только в поверхностном (0–2 см), но и надмерзлотном (30–80 см) слоях. С таким распределением органического вещества коррелируют значения численности основных групп МО (бактерии, грибы, археи), а также показатели α -разнообразия. Для тундровой зоны в целом характерны бедные органическим веществом, переувлажнённые и плохонаэрируемые почвы. С этим связана относительно низкая численность микробного сообщества, наиболее густонаселённые почвенные образцы

в данном случае сопоставимы с горизонтами С. Выраженное влияние на численность МО в почвах тундровой зоны оказывают рекультивационные мероприятия (внесение плодородного слоя почвы, высадка растений), повышающие общий уровень содержания органического вещества. В изученных пробах рекультивированных почв в районе пос. Аксарка наблюдалось повышение численности бактерий в 1,8, грибов – в 1,2 и архей – в 24 раза, по сравнению с фоновой почвой. Однако рекультивированный технозём, по сравнению с самозарастающими технозёмами и фоновой почвой, имел более низкие показатели α -разнообразия (в том числе индекса филогенетического разнообразия Фейта и индекса Шеннона), что свидетельствует о формировании в данном случае переходного типа сообщества с высокой долей копиотрофных групп МО. При анализе β -разнообразия почв наблюдается обособление кластеров по сайтам отбора проб – техногенные почвы обособляются от фоновых и также по горизонтам – между собой сильно различаются горизонты фоновых почв. В микробиоме технозёмов доминируют бактерии из фил *Acidobacteria* (сем. *Koribacteraceae*, пор. RB41), *Actinobacteria* (сем. *Intrasporangiaceae*, *Gaiellaceae*), *Chloroflexi* (кл. *Ellin6529*), *Gemmatimonadetes* (пор. N1423WL) и *Verrucomicrobia* (сем. *Chthoniobacteriaceae*). Их доля превышает 60%. Микробиом рекультивируемой почвы (пос. Аксарка) сильно обособлен от других почв, а при рассмотрении его таксономического состава обнаруживаются ярко выраженные доминирующие группы бактерий, на долю которых приходится более 50% всех операционных таксономических единиц (ОТЕ) – ацидобактерии из сем. *Koribacteraceae*, ацидобактерии из пор. *Ellin6513*, протеобактерии из сем. *Syntrophobacteraceae* и бактерии сем. *Thermogemmatisporaceae*. Вероятно, в данном случае в качестве копиотрофов выступают ацидобактерии – доминирующая и разнообразная в метаболическом отношении группа бактерий, биологические свойства которой пока мало изучены. Из литературных данных известно, что ацидобактерии являются «экологическими» аналогами протеобактерий и преобладают в почвах с низкими значениями рН [9].

Особое значение в последние годы приобретают исследования антропогенной инвазии МО в арктические экосистемы. Отмечается, что микроскопические грибы (микроспидеты) и бактерии в районах полярных поселений формируют своеобразные сообщества, основу

которых составляют космополитные виды, хорошо адаптированные к существованию в антропогенной среде [10, 11]. Они доминируют в почвах, на различных природных и антропогенных субстратах, а также преобладают в составе аэромикоты (микобиота воздушной среды). Биоразнообразие и видовой состав грибов, обнаруженных в воздушной среде в районах арктических поселений, расположенных по Северному морскому пути, показал, что значительную часть аэромикоты составили известные биодеструкторы различных материалов и условные патогены человека. Очевидно, что их проникновение и накопление в экосистемах Арктики связаны с попаданием туда различных материалов и продуктов питания, которые могут служить источником питания для органотрофных микробов. Наиболее детально была исследована аэромикота в районе пос. Тикси (побережье моря Лаптевых), где было выявлено 50 видов микромицетов [10]. Значительную часть аэромикоты составили известные биодеструкторы различных материалов и условные патогены человека. Отмеченные тенденции могут негативно сказываться на здоровье полярников, работающих в суровых климатических условиях Арктики. Основным резервуаром МО в природных условиях является почва [11]. В районах полярных станций в результате хозяйственной деятельности почва часто загрязняется, что способствует накоплению в ней бактерий и микромицетов. Установлены существенные различия в видовом составе и численности микроскопических грибов на арктических территориях, различающихся по степени антропогенного загрязнения. Так, показатели численности в антропогенно загрязнённых почвах и грунтах в районах отдельных поселений были значительно выше (на порядок), по сравнению с естественными местообитаниями. Очевидно, что такая картина связана с антропогенной инвазией микромицетов. Подтверждением тому являются находки ряда видов микромицетов только в районах полярных поселений на антропогенных субстратах. К их числу, прежде всего, можно отнести виды рода *Aspergillus*: *A. nidulans* (Eidam) G. Winter, *A. ustus* (Bainier) Thom & Church, *A. versicolor* (Vuill.) Tirab., а также *Stachybotrys chartarum* (Ehrenb.) S. Hughes. Очевидно, что микромицеты довольно быстро адаптируются к местным условиям, так как во многих случаях виды, выявленные на антропогенных субстратах, часто встречаются и в почвенных пробах [11]. Прежде всего,

это относится к видам родов *Cladosporium* и *Penicillium*. В ходе обследований территорий арктических поселений в районе Баренцева и Карского морей в антропогенно загрязнённых почвах было отмечено 76 видов микроскопических грибов, из них 41 вид (53,9%) был выявлен в помещениях станций и на антропогенных материалах. К этим видам относятся представители родов *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Exophiala*, *Geomyces*, *Humicola*, *Penicillium*, *Mucor*, *Phoma*, *Rhodotorula*, *Trichoderma* и *Ulocladium*. Полученные данные свидетельствуют о значительном сходстве видового состава загрязнённых почв и антропогенных субстратов (рис.).

Следует добавить, что одним из факторов инвазии МО в полярные регионы является их перенос птицами [10]. Скопления птиц часто фиксируются вблизи полярных поселений. В таком случае в составе микробных сообществ можно встретить виды, попадающие в Арктику как орнитогенным, так и антропогенным путём. Почвы в местах скопления (колоний)

птиц характеризуются более высоким видовым разнообразием и численностью микромицетов и бактерий в сравнении с контрольным участками. Среди выявленных видов с птицами часто связаны грибы рода *Aspergillus*. Обычно для представителей этого рода более благоприятными считаются относительно тёплые условия. Однако, все чаще виды этого рода, такие как *A. niger*, можно встретить в антропогенных и орнитогенных местообитаниях в Арктике.

В целом, приведённые данные указывают на существенное влияние биологических инвазий на формирование микробных сообществ в арктических экосистемах.

Урбанизация Арктики привела к росту интенсивности транспорта, что создаёт дополнительные условия для инвазий. В этом отношении интересны перемещения животных на ледоколах или с их помощью. Мелкие животные иногда находят на ледоколе убежище и активно путешествуют. Кроме того, морские птицы часто в большом числе сопровождают ледокол, и в их скоплениях иногда обнаруживаются «посторонние» виды. Наблюдения этих

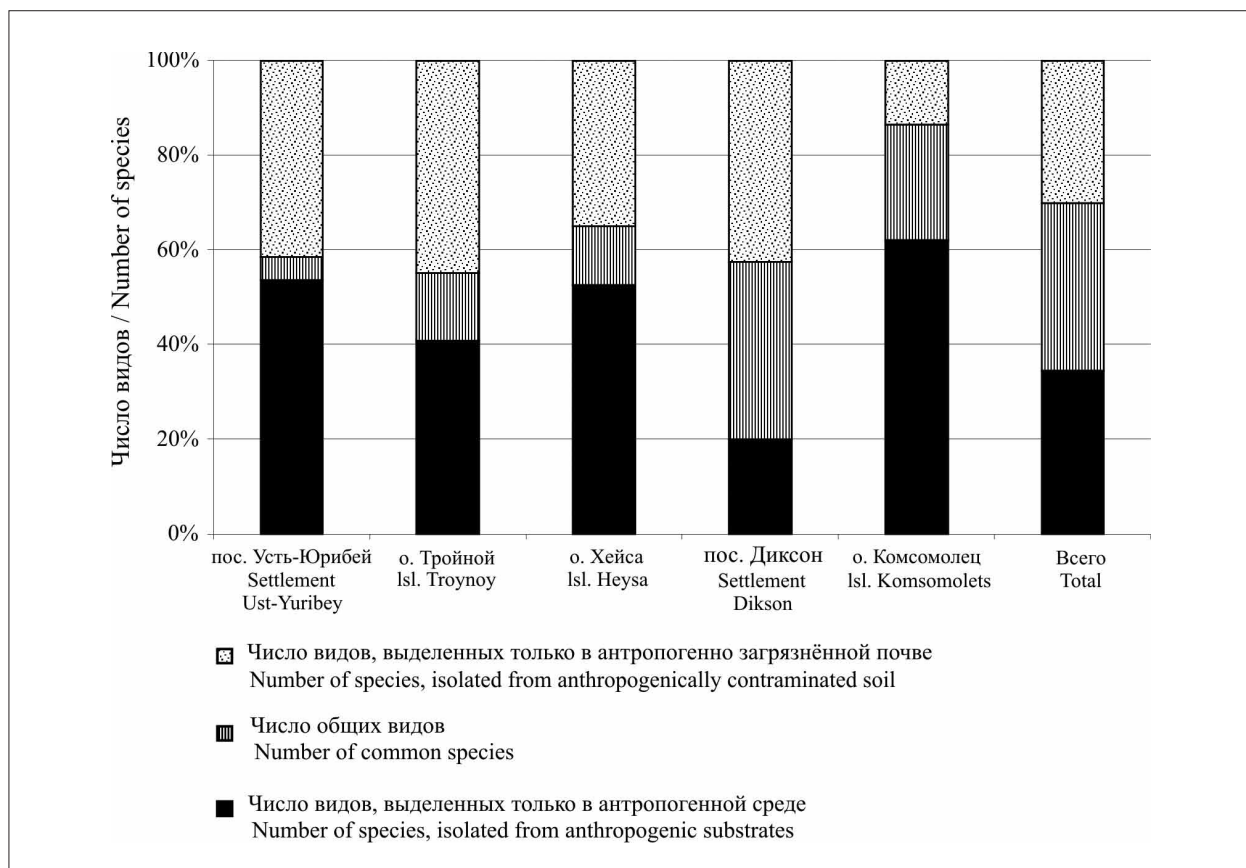


Рис. Распределение микроскопических грибов в загрязнённых почвах и на антропогенных субстратах в районах обследованных арктических поселений
 Fig. Distribution of micromycetes in contaminated soils and anthropogenic substrates in vicinities of arctic settlements investigated

Заключение

явлений были выполнены в ходе движения ледоколов от г. Архангельска к Земле Франца Иосифа. Вблизи г. Архангельска на ледоколе «поселились» воробьиные птицы нескольких видов. Большая часть вовремя вернулась обратно, но несколько особей достигло конечного пункта – острова Земля Александры (краснозобый конёк, рогатый жаворонок). При этом на острове ведётся строительство посёлка, что приводит к изменениям среды, в которой, возможно, вселенцы найдут подходящее местообитание. В числе сопровождающих ледокол птиц также обнаружился относительно южный вид – клуша. На островах архипелага он не обнаруживался. Вполне вероятно, что таким образом для вида проложен путь для дальнейшего расселения. Сравнительно недавно на островах обнаружена утка крякка [12] – вид, который в таком экстремально холодном климате ранее не встречался. Не исключено, что деятельность человека этому косвенным образом поспособствовала. Утка наблюдалась на застроенной территории. Рост численности населения оборачивается ещё одним источником инвазий – намеренным выпуском чужеродных видов любителями. В ходе наблюдений подобных случаев сложилось мнение, что желание выпустить какое-то новое животное (например, необычную рыбу) – инстинкт, который исходит из глубин психологии человека. В настоящее время подобным образом быстро расселяется рыба ротан. Результаты этого процесса вплотную приблизились к границам Арктики. Речные раки таким образом достигли 65 параллели, т. е. уже почти полярного круга. Ранее на Дальнем Востоке при сходных обстоятельствах появились воробьи, и сейчас они расселяются по урбанизированным территориям, достигая Арктики. Помимо стимула намеренных выпусков любителями, урбанизация способствует проникновению чужеродных видов в Арктику тем, что создаёт условия для расселения на север ряда видов животных. Этот процесс хорошо прослеживается в случае птиц. За счёт урбанизированных территорий ряд видов расширили ареал вплоть до северных границ суши Евразии. К ним относятся: сизый голубь, серая ворона, деревенская ласточка, воронок, полевой жаворонок, обыкновенный скворец, сорока, грач, серая ворона, дрозд-рябинник, белобровик [13–17]. Обнаружение этих видов в Арктике обычно происходит в населённых пунктах, их окраинах или на каких-то иных объектах антропогенной природы [18, 19].

В настоящее время в связи с урбанизацией несколько десятков чужеродных видов растений, МО и животных проникло в Арктику или вплотную приблизились к её границам. На значительной территории арктические природные комплексы преобразуются и всё больше напоминают те, которые характерны для более южных территорий. Масштабы этого явления остаются слабоизученными.

Прогрессивное сокращение участия инвазивных видов растений в ходе восстановительной сукцессии свидетельствует в пользу текущей устойчивости ненарушенных фитоценозов северотаёжной зоны к внедрению чужеродных видов, которые натурализуются лишь в сильно нарушенных экотопах. Однако на следующем этапе адаптации чужеродных видов под угрозой могут оказаться естественно нарушаемые местообитания, такие как, внутриконтинентальные песчаные раздувы или долинные комплексы растительных сообществ.

В ходе антропогенного воздействия трансформируется микробиом почв. Техногенные почвы характеризуются индексами α - и β -разнообразия, отличными от фоновых почв. При этом местный ресурс регенерации микробного сообщества в посттехногенных сменах задействован минимально. В районах арктических поселений численность МО (в том числе условно патогенных) заметно возрастает в сравнении с контрольными (относительно «чистыми») территориями, что во многом связано с антропогенной инвазией (с материалами, продуктами питания, транспортом). Прежде всего, это относится к аэромикоте. Самые высокие показатели содержания микроскопических грибов в воздушной среде были отмечены в помещениях, где значительную долю выявленных видов составили условные патогены человека. При этом состав микромицетов в воздушной среде и на различных материалах с признаками биоповреждений в значительной степени совпадают. Здесь доминируют космополитные виды, которые, вероятно, успешно адаптируются к условиям обитания в арктических экосистемах. Это в полной мере относится и к сообществам почвенных микромицетов в Арктике. Нами отмечено значительное сходство видового состава загрязнённых почв и антропогенных субстратов, что, по всей видимости, свидетельствует об инвазивном происхождении ряда видов и их переходе к существованию в почвах.

Урбанизация способствует проникновению чужеродных видов в Арктику тем, что создаёт условия для расселения на Севере ряда видов животных. Этот процесс хорошо прослеживается в случае птиц. За счёт урбанизированных территорий ряд видов расширили ареал вплоть до северных границ суши Евразии, что играет важнейшую роль в формировании трофических цепей и способствует изменению экосистем в целом.

Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ «Урбанизированные экосистемы Арктического пояса Российской Федерации: динамика, состояние и устойчивое развитие» (полевые работы) и гранта РФФИ-Ямал № 19-416-890002 (метагеномное секвенирование).

References

1. Pilyasov A.N. The counters of the Arctic zones development in Russia // *Arktika. Ekologiya i ekonomika*. 2011. V. 11. P. 38–47 (in Russian).
2. Dybore S., Dahl J., Muller-Wille L. Dynamics of Arctic urbanization // *Acta Borealia*. 2010. V. 27 (2). P. 120–124. doi: 10.1080/08003831.2010.527526
3. Morozova O.V. Participation of alien species in the diversity and structure of the floras of Eastern Europe // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2003. V. 3. P. 63–71 (in Russian).
4. Ovcharova N.V., Terekhina T.A. Invasive activity of adventive plant species on the territory of the right Bank of the Ob river (Altai territory) // *Problems of botany of South Siberia and Mongolia: Materials of XV International scientific-practical conference*. Barnaul: Izd-vo ALTGU, 2016. P. 349–353 (in Russian).
5. Andronov E.E., Pinaev A.G., Pershina E.A., Chizavskaya E.P. Science-methodical recommendations on isolation of high pure DNA samples from environmental objects. Sankt-Petersburg: Vserossiyskiy Institut Sel'skohozyaystvennoy Mikrobiologii, 2011. 23 p. (in Russian).
6. Bolger A.M., Lohse M., Usadel B. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data // *Bioinformatics*. 2014. V. 30. No. 15. P. 2114–2120. doi: 10.1093/bioinformatics/btu170
7. Caporaso J.G., Bittinger K., Bushman F.D., DeSantis T.Z., Andersen G.L., Knight R. PyNAST: a flexible tool for aligning sequences to a template alignment // *Bioinformatics*. 2010. V. 26 (2). P. 266–267. doi: 10.1093/bioinformatics/btp636
8. Koptseva E.M. Natural restoration of vegetation on technogenic habitats of the Far North (Yamal sector of the Arctic): Diss. kand. biol. nauk. Sankt-Peterburg, 2005. 237 p. (in Russian).
9. Chirak E.L., Pershina E.V., Dol'nik A.S., Kutovaya O.V., Vasilenko E.S., Kogut B.M., Andronov E.E. Taxonomic structure of microbial association in defferent soils investigated by high-throughput sequencing of 16-rRNA gene library // *Selskokhozyaistvennaya Biologiya*. 2013. V. 3. P. 100–109 (in Russian). doi: 10.15389/agrobiology.2013.3.100eng
10. Kitrisideli I.Yu., Abakumov E.V., Teshebaev S.B., Zelenskaya M.S., Vlasov D.Yu., Krylenkov V.A., Ryabushchev Y.V., Sokolov V.T., Barancevich E.P. The microbial community in regions of the Arctic settlements // *Hygiene and Sanitation*. 2016. V. 95 (10). P. 923–929 (in Russian). doi: 10.1882/0016-9900-2016-10-923-929
11. Ali H.S., Alias S.A., Siang H.Y., Smykla J., Pang K.L., Guo S.Y., Convey P. Studies on diversity of soil microfungi in the Hornsund area, Spitsbergen // *Pol. Polar Res*. 2013. V. 34 (1). P. 39–54. doi: 10.2478/popore-2013-0006
12. Gavrilov M.V. The first flight of Mallard *Anas platyrhynchos* to the land of Franz Josef // *Rossiyskiy ornitologicheskij zhurnal*. 2016. V. 25. P. 52–54 (in Russian).
13. Vronsky N.B. On the flights and settlement of birds in the Western Taimyr // *Zool. Journ*. 1985. V. 64. P. 78–86 (in Russian).
14. Gashev S.N. About distribution of the house Sparrow to the North of Western Siberia // *Materials to distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*. Ekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 1997. P. 44–45 (in Russian).
15. Dorogoy I.V. Nesting barn swallows and stonechats in Chukotka // *Ornitologia*. 1991. V. 25. P. 158.
16. Zhukov V.S. Rare, stray and little-studied birds of the lower Taz river and the Gydan Peninsula // *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*. Ekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 1995. P. 24–29 (in Russian).
17. Kopein K.I., Olenev V.G. On visits to the tundra of animals of other landscape zones // *Tyumen Transactions of the Salekhard permanent monitoring station: Materials on the fauna of the Priobskiy North and its use*. No. 1. Tyumen publishing house, 1959. P. 363 (in Russian).
18. Lobanov V.A. population of Vorkuta birds and its possible changes // *Birds and urban landscape*. Kaunas, 1984. P. 90–91 (in Russian).
19. Yudkin V.A., Vartapetov L.G., Kozin V.G. Changes in the population of terrestrial vertebrates in the development of oil and gas fields in the North of Western Siberia // *Sibirskiy ekologicheskij zhurnal*. 1996. V. 3 (6). P. 573–583 (in Russian).